



DEUTSCHES
PATENTAMT

21 Aktenzeichen: P 34 30 550.5
22 Anmeldetag: 20. 8. 84
43 Offenlegungstag: 11. 4. 85

DE 3430550 A1

30 Unionspriorität: 32 33 31
20.09.83 CH 5094-83

71 Anmelder:
Fischer AG Ingenieurbüro, Windisch, CH

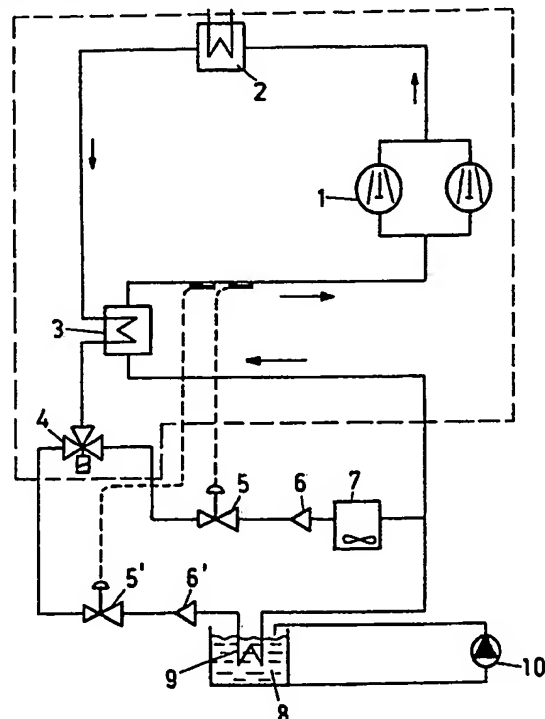
74 Vertreter:
Schlagwein, U., Dipl.-Ing., Pat.-Anw.; Ruppert, K.,
Rechtsanw., 6350 Bad Nauheim

72 Erfinder:
Fischer, Ernst, Veltheim, CH

Behördeneigentlich

54 Verfahren und Vorrichtung zur Erhöhung des Gesamtwirkungsgrades einer Wärmepumpenanlage

In einem Verfahren zur Erhöhung des Gesamtwirkungsgrades einer Wärmepumpenanlage wird in einem Wasser-Eis-Latentspeicher (8) ein erster Verdampfer (9) direkt mit einem zu verdampfenden Kältemittel betrieben. Der Latentspeicher (8) besteht aus einem Behälter. In einem Überhitzer (3) wird das Kältemittel mit vom Kompressor (1) zurückgeführten Kondensat überhitzt. Durch das Verfahren wird eine Verbesserung der Leistungsziffer von 20 bis 25% erreicht. Es wird auch eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens beschrieben. Als Anwendungsgebiete kommen insbesondere Raumheizungen in Gebäuden in Frage.



DE 3430550 A1

3430550

- 1 -

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Verfahren zur Erhöhung des Gesamtwirkungsgrades einer Wärmepumpenanlage, welche aus mindestens einem Kompressor, wenigstens einem Verdampfer, einem Überhitzer, einem Dreiwegventil, einem Latentspeicher und einem Kältemittel besteht, dadurch gekennzeichnet, dass das Kältemittel direkt mittels eines Verdampfers (9) im Latentspeicher (8) verdampft und im Überhitzer (3) der Satt-dampf des Kältemittels überhitzt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Vereisung im Latentspeicher (8) durch Zufuhr von Wärme begrenzt ist.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Latentspeicher (8) mit Abwärme regeneriert wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass als Abwärme Gebäudeabluft verwendet wird.
5. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Vereisungsbegrenzung auf eine resultierende Rohroberflächentemperatur während des Betriebes von minus 8° bis minus 12° C eingestellt wird.
6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Druckdifferenz zwischen Saug- und Druckseite des Kompressors (1) in einem Bereich von 5 bis 20 bar begrenzt wird.
7. Verfahren nach den Ansprüchen 1 und 2, dadurch gekenn-

zeichnet, dass durch den Kompressor (1) das Wärmeübertragungsmedium umgewälzt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass durch den Latentspeicher (8) ein Wärmeträger gepumpt wird.
9. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein zweiter Verdampfer (7) mit Aussenluft gespeist wird.
10. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Kältemittelkondensat aus dem Kondensator (2) im Überhitzer (3) unterkühlt wird.
11. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein mit Wasser versehener Behälter als Latentspeicher (8) dient.
(Fig. 1)
12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass im Latentspeicher (8) ein Verdampfer (9) installiert ist. (Fig. 2)
13. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass der Verdampfer (9) aus Rohren besteht. (Fig. 2)
14. Vorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Rohre des Verdampfers (9) eine glatte Oberfläche aufweisen.
15. Vorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Rohre des Verdampfers (9) profiliert sind.

Verfahren und Vorrichtung zur Erhöhung des Gesamtwirkungs-
grades einer Wärmepumpenanlage

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Erhöhung des Gesamtwirkungsgrades einer Wärmepumpe, welche aus mindestens einem Kompressor, wenigstens einem Verdampfer, einem Überhitzer, einem Dreiwegventil, einem Latentspeicher und einem Kältemittel besteht.

Aus der DE-PS 955 718 ist eine Verfahren zum Betreiben einer Wärmepumpe bekannt, wobei die Entspannung gleichzeitig auf verschiedenen Druckstufen erfolgt. Auf diese Weise wird mehrstufig auf den verschiedenen Druckstufen verdichtet. Bei diesem bekannten Verfahren wird aus einer gegebenen Wassermenge eine möglichst grosse Wärmemenge entnommen, um sie auf ein höheres Temperaturniveau zu heben.

Alle bekannten Wärmepumpen entziehen einer Wärmequelle, wie Flusswasser, Grundwasser, Erde, Luft oder einem Latent-Eisspeicher, die darin enthaltene Wärme, wobei die darin enthaltene Wärme genutzt wird.

An Orten, wo Wasser als Wärmequelle nicht zur Verfügung steht, wurden bereits Rohre direkt in die Erde verlegt, in deren Innern ein Gemisch aus Glykol und Wasser als Wärmeträger zirkuliert. Auch Latent-Eisspeicher, bei denen der gesamte Wasserinhalt vereist und die die für den Verdampferbetrieb erforderliche Energie dem angrenzenden Erdreich entnehmen, werden so betrieben.

Wird eine totale Vereisung des Inhalts eines Latent-Eisspeichers nicht angestrebt, liegt die Speichertemperatur während der Dauer der Vereisungsphase bei Null Grad C. Das nutzbare Temperaturniveau liegt jedoch tiefer, je nach Stärke des Eismantels, der sich um die Rohre des Verdampfers gebildet hat. Um den Wärmeaustausch dennoch zu gewährleisten, sind grosse Rohrlängen erforderlich.

Solch ein Verfahren hat noch mehrere Nachteile. Glykol hat wärmetechnisch sehr schlechte Eigenschaften. Bei niedrigen Temperaturen steigt die Viskosität des Glykol/Wasser-Gemisches so stark an, dass bereits bei Temperaturen von minus 10° C der Kompressor durch sehr tiefe Sauggastemperaturen überlastet wird. Auch hat das Glykolgemisch eine so schlechte Reynoldzahl, so dass der zum Pumpen erforderliche Energieaufwand den Betrieb der ganzen Anlage unwirtschaftlich macht. Daher darf im Glykol-Wassergemisch der Anteil an Glykol nicht wesentlich über 30 Gew.-% liegen. Schon bei Temperaturen von 0 bis minus 4° C wird der Wärmeübergang von Eis via Rohr auf Glykol sehr schlecht. Ausserdem ist bei Verwendung von Glykol in einem Zwischenkreislauf im Verdampfer eine Temperaturdifferenz, zwischen Verdampfungstemperatur des Kältemittels und mittlerer Temperatur des Glykol-Wassergemisches im Verdampfer, von einem Delta T zwischen 6° und 14° K erforderlich. Der weitere Nachteil ist darin zu sehen, dass bei flächig verlegten Erdkollektoren relativ grosse Landreserven erforderlich sind, um genügend Wärme aus der Erde zu gewinnen.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zu schaffen, das eine Erhöhung des Gesamtwirkungsgrades einer Wärmepumpenanlage bewirkt durch Vermeidung extrem tiefer Verdampfungstemperaturen. Unter extrem tiefen Temperaturen sind Verdampfungstemperaturen unter minus 10° bis minus 12° C zu verstehen.

Eine weitere Aufgabe ist es, eine Vorrichtung zur Durchfüh-

rung des Verfahrens zur Verfügung zu stellen, die einfach ist und wirtschaftlich herzustellen ist.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäss nach Anspruch 1 gelöst und ist dadurch gekennzeichnet, dass das Kältemittel direkt mittels eines Verdampfers im Latentspeicher verdampft und im Überhitzer der Sattedampf des Kältemittels überhitzt wird.

Durch eine direkte Verdampfung des Kältemittels, vorzugsweise aus der Gruppe der halogenierten Kohlenwasserstoffe, in den Rohren eines Verdampfers, der in einem mit Eis/Wasser betriebenen Latentspeicher installiert ist, sind wesentlich höhere Verdampfungstemperaturen möglich als bei Anlagen, die die Wärme mittels einer Wärmeträgerflüssigkeit, wie Glykol, dem Latentspeicher entziehen. Die höheren Verdampfungstemperaturen ergeben eine wesentlich höhere Leistungsziffer als bekannte Anlagen. Als besonders vorteilhaft für das Verfahren haben sich Metallrohre insbesondere aus Kupfer oder dessen Legierungen erwiesen, die gegen Korrosion in kaltem Wasser beständig sind und eine hohe Wärmeleitfähigkeit aufweisen. Aber auch andere Metalle, wie Aluminium sowie Stahl und Legierungen, die notfalls mit einem Schutzanstrich gegen Korrosion versehen sind, können verwendet werden. Durch Optimierung der Rohrquerschnitte und Rohrabstände kann eine grösstmögliche Ausnutzung des Speichervolumens zur Entnahme der Latentwärme erreicht werden.

Es hat sich als besonders vorteilhaft erwiesen, die Vereisung im Latentspeicher durch Zufuhr von Wärme zu begrenzen. Bei starker Vereisung des Latentspeichers, die ein Absinken der Verdampfungstemperaturen unter minus 10° C zur Folge haben könnten, kann eine zusätzliche Pumpe als Hilfsaggregat zur Regenerierung des Latentspeichers eingesetzt werden, die jedoch für das erfindungsgemässe Verfahren nicht wesentlich ist. Diese Pumpe kann mit jeder Art von Abfallwärme betrieben werden und ein Teil des Eises im Latentspeicher wieder zum Schmelzen bringen. Als Abwärme kommen beispielsweise Ge-

bäudeabluft oder industrielle Abwärme auf tiefem Temperaturniveau in Frage.

Die Rohroberflächentemperatur im Latentspeicher wird auf minus 8° bis minus 10° C limitiert. Es soll in besonders vorteilhafter Weise möglichst viel Wasser von 0° C in Eis umgewandelt werden, da bei dem Übergang von Wasser zu Eis Schmelzwärme in der Grösse von 93 Wattstunden pro kg Wasser frei werden. Es ist daher erwünscht, dass die Kupferrohre mit einem äusseren Rohrdurchmesser von 10 bis 15 mm einen Eisenmantel bis maximal 200 mm aufweisen. Mit dem Wachsen vom Eis auf der Oberfläche der Rohre nimmt gleichzeitig die Oberfläche für den Wärmetausch Wasser/Eis zu. Es sei bemerkt, dass bei Verwendung von Platten für den Wärmetausch des Verdampfers lediglich ein eindimensionales Wachstum der Eisschicht erfolgt, während bei Rohren das Wachstum in zwei Dimensionen erfolgt.

Bei Verwendung von Rippenrohren vermag man zwar die Oberfläche zu vergrössern, die Kosten der Rohre steigen damit jedoch unverhältnismässig an.

Das Verfahren wird ohne zusätzliche Pumpen betrieben. Als treibende Kraft zur Umwälzung des Wärmeübertragungsmediums dient allein der Kompressor. Auf der Saugseite des Kompressors wird beispielsweise bei einem Druck von 2 bar und auf der Druckseite bei 12 bar gearbeitet. Es hat sich als vorteilhaft erwiesen, eine Druckdifferenz von 5 bis 20 bar, vorzugsweise von 10 bar aufrecht zu erhalten.

Das Wärmeübertragungsmedium, in Form eines halogenierten Kohlenwasserstoffes, wird so vom Kompressor durch den Latentspeicher gepumpt.

Ein zweiter Verdampfer kann bei weniger Wärmebedarf unter relativ hohen Aussentemperaturen mit Aussenluft als Wärmequelle gespeist werden.

In jedem Fall erfolgt eine Überhitzung des Sattdampfes in einem Überhitzer, wobei das Kältemittelkondensat aus einem Kondensator nach dem Kompressor unterkühlt wird.

Zur weiteren Erhöhung des Wirkungsgrades und damit der Leistungsziffer ist ein Überhitzer vor dem Eintritt in den Kompressor vorgesehen, damit wird der von einem der Verdampfer stammende Sattdampf mit einer zweiten Wärmequelle auf höherem Temperaturniveau überhitzt. Als Heizmittel dient dabei das Kondensat des Kältemittels nach dem Kompressor, welches z.B. mit einer Temperatur von ca. 40° C zur Verfügung steht. Zum Schutz des Kompressors gegen Erosion durch Resttropfen wird in bekannter Weise gelegentlich ein kleiner Wärmeaustauscher vorgeschaltet, der solche Tropfen verdampfen soll.

Die Erfindung soll anhand von Zeichnungen erläutert werden.

Es zeigen:

Fig. 1 das Schema einer Wärmepumpenanlage nach der Erfindung,

Fig. 2 einen Latentspeicher im Längsschnitt,

Fig. 3 Rohreinsätze in den Latentspeicher gemäss Figur 2,

Fig. 3a Rohranordnung von Fig. 3,

Fig. 4 Variation der Rohreinsätze und

Fig. 4a Rohranordnung von Fig. 4.

Figur 1 stellt das Prinzip-Schema einer Wärmepumpenanlage dar. Bei Aussenlufttemperaturen über zirka 2° C läuft die Wärmepumpe zunächst mit Aussenluft als Wärmequelle. Von einem Kompressor 1 gelangt ein verdichtetes Kältemittel zum

Kondensator 2, wo es bei beispielsweise 50°C verflüssigt wird. Es durchläuft einen Überhitzer 3, wo das Kältemittel beispielsweise von 50°C auf 10°C abgekühlt wird. Ein Dreiwegventil 4 ist so gestellt, dass es auf ein Expansionsventil 5 führt. Das gekühlte Kältemittel strömt über einen Verteilerkopf 6 in den Verdampfer 7, welcher der Aussenluft Wärme entzieht. Der Kältemittelsattdampf wird im Überhitzer 3 durch sich abkühlendes ca. 40-grädiges Kältemittelkondensat überhitzt, so dass er mit etwa $+ 5^{\circ}\text{C}$ in den Kompressor eintreten kann. Diese erste Wärmequelle kann bis zu einem bestimmten Umschaltpunkt genützt werden.

Unterhalb dieses vorgegebenen Umschaltpunktes wird eine zweite Wärmequelle, der Eis/Wasser-Latentspeicher, genutzt.

Durch Umschalten des Dreiwegventils wird das vom Überhitzer 3 kommende Kältemittel in zunächst analoger Weise über ein Expansionsventil 5' und einen Verteilerkopf 6' direkt durch den Verdampfer 9, der sich innerhalb des Latentspeichers 8 befindet, geleitet. Das Kältemittel wird daher in den Rohren des Verdampfers 9 verdampft, die direkt in Kontakt mit dem Wasser und/oder dem Eis des Latentspeichers 8 sind. Das verdampfte Kältemittel wird in gleicher Weise wie beim Kreislauf mit Aussenluft im Überhitzer 3 überhitzt.

Der Latentspeicher 8 besteht in vorteilhafter Weise aus einem Betonbehälter, kann aber auch aus einem Kunststoffbehälter oder einem Metallbehälter gefertigt sein. Gemäss Figur 2 sind in seinem Innern an senkrechten Trägern 11 Rohrschlangen 12 befestigt, die den Verdampfer 9 bilden. Diese Rohre sind mit einem Eingang 13 und einem Ausgang 14 für das Kältemittel versehen.

Nach Anordnung der Rohre 12 gemäss den Figuren 3 und 3a, können 78,5 % des Latentspeicher-Inhaltes 8 vereist werden, bevor die einzelnen Eismäntel 15 zusammenwachsen. Die Entfernung von Mittelpunkt zu Mittelpunkt der Rohre beträgt



beispielsweise 200 mm in einem Speichervolumen von beispielsweise 10 m^3 .

Bei einer Anordnung gemäss den Figuren 4 und 4a ist eine Ausnutzung des Speicherinhaltes von theoretisch 90,5 % erreichbar.

Ausgehend von den meteorologischen Daten des Einsatzortes kann die Speichergrösse bestimmt werden. Innerhalb des als Latentspeicher vorgesehenen Behälters ist ein Verdampfer vorgesehen, der in seiner einfachsten Ausführung aus Kupferrohren besteht, die in beliebiger Anordnung in Abständen von (200 mm) angebracht sind. Es wird eine glatte Oberfläche vorgezogen, die einen gleichmässigen Belag an Eis begünstigt. Dabei kann die Oberfläche auch glatte Profile tragen. Ein äusserer Rohrdurchmesser von 10 bis 15 mm hat sich als geeignet erwiesen, um die gewünschte Verdampfung des Kältemittels in den Rohren zu gewährleisten.

Die Erfindung soll anhand von Vergleichsbeispielen näher beschrieben werden. In nachfolgender Tabelle werden folgende Abkürzungen verwendet.

T_E	=	Erdtemperatur
T_{VE}	=	Glykoleintrittstemperatur in den Verdampfer
T_{VA}	=	Glykolaustrittstemperatur aus dem Verdampfer
T_M	=	mittlere Glykoltemperatur im Verdampfer
T_0	=	Verdampfungstemperatur
T_R	=	Rohroberflächentemperatur
t_m	=	mittlere Temperaturdifferenz zwischen Verdampfungstemperatur T_0 und Glykoltemperatur

Bei- spiel	T_E	T_{VE}	T_{VA}	T_M	Δt_m	T_0	Zustand der Wärme- quelle
I	0°C	- 2°C	- 6°C	- 4°C	11,5°K	-15,5°C	Verei- sungsbe- ginn im Erd- reich
II	-8°C	-10°C	-14°C	-12°C	11,5°K	-23,5°C	maximal vereist
III	$\frac{TR}{0°C}$	- 2°C	- 6°C	- 4°C	11,5°K	-15,5°C	Verei- sungsbe- ginn im Latent- speicher
IV	-6°C	- 8°C	-12°C	-10°C	11,5°K	-21,5°C	maximal vereist
V	0°C				0,5°K	- 0,5°C	Verei- sungs- beginn im La- tent- speicher
VI	-10°C				0,5°K	-10,5°C	maximal vereist

Beispiele I bis IV dienen zum Vergleich und werden mit Glykol/Wasser als Kältemittel betrieben.

Die Beispiele I und II zeigen den Betrieb eines flächig verlegten Erdkollektors mit Glykolkreislauf. Der Betrieb der Anlage wird wegen des Glykologemisches, welches maximal 35 % Glykol enthalten darf und somit nur bis minus 18° gefriersicher ist, kritisch.

Die Beispiele III und IV zeigen den Betrieb eines Eis-Latentspeichers mit Glykolkreislauf, der durch verschiedene Abwärmen laufend regeneriert wird. Die maximale Vereisung tritt daher nur selten auf und ist auf einen Eismantel um

die Rohre von zirka 200 mm beschränkt. Bei Eis-Latentspeichern die ihre Energie aus der Entwärmung des umliegenden Erdreiches gewinnen müssen, liegen die entsprechenden Temperaturen noch wesentlich tiefer.

Die Beispiele V und VI geben die erfindungsgemässen Ergebnisse wieder. Es ist zu ersehen, dass trotz der tieferen Temperaturen der Rohroberfläche, bei VI gemäss der Erfindung, verglichen mit Beispiel IV eine um 11° K höhere Verdampfungstemperatur erreicht wird.

Die erforderliche Heizleistung einer Wärmepumpe verringert sich bei Erhöhung der Verdampfungstemperatur von 10° bis 12° K um etwa 35 %. Daraus folgt, dass für eine vorgegebene Heizleistung eine kleinere Wärmepumpe eingesetzt werden kann. Durch die höhere Verdampfungstemperatur T_0 wird eine um 20 bis 25 % höhere Leistungszahl erreicht als bei bekannten Wärmepumpen, die mit Glykol als Zwischenkreislauf betrieben werden.

Die Vorteile der Direktverdampfung von Kältemittel im Latentspeicher sind also darin zu sehen, dass wesentlich höhere Verdampfungstemperaturen erreicht werden können. Die höheren Verdampfungstemperaturen ergeben Leistungsziffern, die mit den bekannten Verfahren nicht erreicht werden. Die Überhitzung des Kältemittels in einem zweiten Verdampfer durch Unterkühlung des rücklaufenden Kondensates bringt eine weitere Verbesserung in der Leistung der Anlage.

Die Verwendung von Wasser im Latentspeicher anstelle eines zwischengeschalteten Wärmeübertragungskreislaufes hat neben der Einsparung des Wärmeübertragungsmittels und den erforderlichen Anlageteilen sowie deren Installation den Vorteil, dass Wasser beliebig oft gefroren und wieder aufgetaut werden kann, ohne seine chemischen und physikalischen Eigenschaften zu verändern.

Durch den Wegfall des Glykol-Zwischenkreislaufs wird die Anlage wesentlich vereinfacht. Die Konstruktion stellt daher die bisher kostengünstigste Lösung dar. Es wird sowohl die statische Wärme oberhalb des Nullgradbereichs genutzt, als auch die latente Wärme aus dem Wechsel des Aggregatzustandes Wasser/Eis.

Als Hauptanwendungsgebiete steht die umweltfreundliche Beheizung von Gebäuden, Wohnungen und Einfamilienhäusern im Vordergrund. Die Erfindung kann aber auch überall dort eingesetzt werden, wo Wärme zur Raumbeheizung erforderlich ist.

Hervorragend geeignet ist der Erfindungsgegenstand in Verbindung mit motorisch betriebenen Totalenergieanlagen sowie zur Nutzung periodisch oder laufend anfallender Abwärme auf tiefem Temperaturniveau wie industrielle Abwärme oder Gebäudeabluft.

Bezeichnungsliste

1	=	Kompressor
2	=	Kondensator
3	=	Überhitzer
4	=	Dreiwegventil
5	=	Expansionsventil zum Verdampfer 7
5'	=	Expansionsventil zum Verdampfer im Latentspeicher
6	=	Verteilerkopf zum Verdampfer 7
6'	=	Verteilerkopf zum Verdampfer im Latentspeicher
7	=	Verdampfer für Aussenluft
8	=	Latentspeicher
9	=	Verdampfer im Latentspeicher 8
10	=	Pumpe zur Regenerierung von 8
11	=	Träger
12	=	Rohr
13	=	Eingang
14	=	Ausgang
15	=	Eismantel

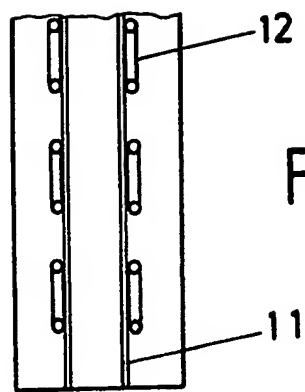


FIG. 3

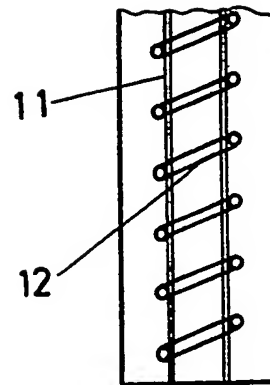


FIG. 4

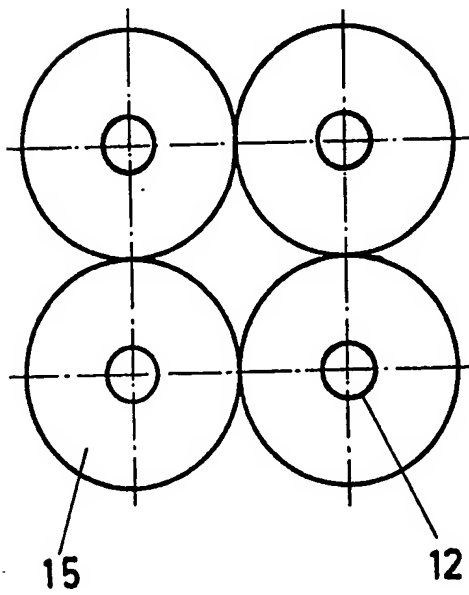


FIG. 3a

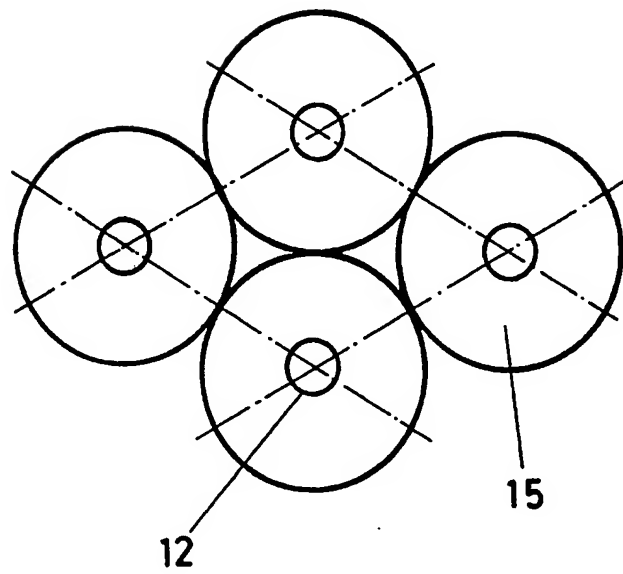


FIG. 4a